

ユーザの割り込み拒否度を考慮した円滑な会話開始支援エージェント

田中 貴紘^{†a)} 藤田 欣也[†]

Acceptable Dialog Start Supporting Agent Based on User Uninterruptibility

Takahiro TANAKA^{†a)} and Kinya FUJITA[†]

あらまし 職場や自宅において、インスタントメッセージングツールによるコミュニケーションが広く行われるようになったが、このコミュニケーションでは、“何か他の作業をしながら、会話もする (multi-tasking communication)” ことが一般的である。そのため、他ユーザへの話しかけが、意図せず相手の作業を妨害することが懸念される。そこで、本研究では、円滑な会話開始支援を目的とし、アプリケーション切替による作業の切れ目に着目したユーザの割り込み拒否度推定を行い、会話パートナーへのアバタの姿勢・動作による状態表出機能と、視線制御によるアンビエントな話しかけ代行機能をもった、Acceptable Dialog Start Supporting (ADSS) エージェントの開発を行った。ADSS エージェントは、ユーザから会話開始要求を受けると、対象ユーザへ共同注視と視線交差の2種類の要求アピールを行うことで、会話開始要求に対する気づきを促し、対象ユーザからの話しかけによる円滑な会話開始を実現する。実験により、エージェントの視線制御による要求アピールがアンビエントな話しかけ実現に有効であることを確認し、より作業中のユーザを阻害しない円滑な会話開始の実現可能性を示した。

キーワード エージェント、割り込み拒否度、アバタ、オンラインコミュニケーション

1. ま え が き

近年、インターネットの普及やユビキタスコンピューティング環境が整備されるに従い、ユーザがシステムから随時情報提示される機会が増えてきている。しかし、情報提示タイミングや頻度にユーザの作業状況が適切に反映されておらず、ユーザは提示情報の確認のために思考をたびたび中断されるという問題が指摘されている。そのため、情報システムがかえってユーザの知的生産性を低下させる可能性が懸念される。特に、職場や自宅において、インスタントメッセージングツールによるコミュニケーションが広く行われるようになってきている。例えば、これらのツールの一つである Skype の国内利用者は年々増加しており、2008 年で最大 760 万人になると予測されている [17]。このコミュニケーションでは、“何か他の作業をしながら、会話もする (multi-tasking communication)” ことが一般的であるため、他ユーザへの話しかけが、意図せず

相手の作業を妨害することが懸念される。

情報提示制御にユーザの作業状況を適切に反映するため、キー入力やマウス操作などの PC 操作量から、作業中のユーザの状態推定を行う研究には、いくつかの先行研究がある [1], [2]。しかし、実際の作業には、思考を主とする作業も存在するため、このような知的作業を考慮したユーザ状態推定が望まれる。筆者らは、PC 作業におけるアプリケーション切替 (Application-Switching : AS) 時の割り込み拒否度は作業中と比較して有意に低く、ユーザに受け入れられやすいことを確認した [3]。しかし、本来、AS は次の作業の開始であり、一時的に低下した割り込み拒否度は AS 直後から徐々に高まると考えられる。筆者らは、NIRS (Near Infrared Spectroscopy : 近赤外分光器) による AS 前後の脳活性化量の計測を行い、その結果、AS による拒否度低減効果時間は 2 秒程度であることが示唆された [4]。

知的作業を含めた作業の切れ目として、AS 発生タイミングで話しかけ行動を行うことは、円滑な会話開始につながると考えられるが、ユーザ状態推定は、本質的に推定誤差を避けられず、従来の音やポップアップウィンドウのような割り込み方法では、誤って割り込み

[†] 東京農工大学大学院, 小金井市

Tokyo University of Agriculture and Technology, 2-24-16
Nakamachi, Koganei-shi, 184-8588 Japan

a) E-mail: takat@cc.tuat.ac.jp

可能と推定した場合にユーザの作業を阻害することが懸念される。また、AS 発生後から割り込み可能な期間は 2 秒程度と考えられるため、人間が AS 発生に合わせて、割り込み可能時間内に話しかけを行うことは困難である。また、いつ起こるか分からない AS を待ち続けることは、話しかける側にとって負担が大きくなるため、システムによる支援が必要と考えられる。

そこで、本研究では、ユーザの代わりに、話しかけたい相手の AS 発生に合わせて、アバタの視線制御によるアンビエントな話しかけ行動を行う、Acceptable Dialog Start Supporting (ADSS) エージェントの開発を行った。ADSS エージェントにより、自然で円滑な会話の場の雰囲気をもったオンラインコミュニケーションの実現を目指す。

本論文では、まず、2. にて関連研究と先行研究である AS に着目した情報提示制御に関して述べ、次いで、3. にて ADSS エージェントの役割、構成と機能について述べる。更に、4. で ADSS エージェントによる会話開始実験について述べた後、5. でまとめる。

2. 関連研究

2.1 ユーザ状態推定

これまで、ユーザコンテキストを利用してユーザの状態を推定する様々な研究が行われている。中でも、PC 作業中のユーザの忙しさを推定する研究では、キー入力やマウス操作に基づく推定方法が提案されている [1], [2]。これらの研究では、ユーザの PC 操作量が多くなるほどユーザが忙しいと想定されており、ユーザの作業が外部から観察可能な PC 操作量を伴う場合には忙しさの推定に有効と考えられる。しかし、PC 操作量を伴わない知的作業を阻害しないことも、情報提示において重要であるため、知的作業を含めたユーザの忙しさの推定が検討課題として挙げられる。

また、マイクやカメラ、加速度センサなどを生活空間の中に遍在させ、そこから得られる情報をもとにコンテキストの推測を行う研究も多数試みられている [5], [6]。また、PC 作業を行っている人が集中すると作業対象の方へ上体が強く引き寄せられること [20]、上体の向きや距離が、その人の興味の度合を表す傾向があることが確認されている [13]。これらのセンサ情報は、ユーザの作業内容や忙しさの推定に有用な情報となる可能性は高いが、身体へのセンサ装着や利用環境へのセンサ設置が必要であり、システム導入に際してはコストに加えて心理的な障壁が予想される。特に、

カメラなどの撮像機器の利用は、ユーザに個人情報漏えいの懸念を抱かせ、システムの利用を躊躇させる可能性も考えられる。そのため、特別なセンサを使用せずとも、ユーザへの割り込みタイミング制御を可能とする、汎用性の高いユーザ状態推定方法が必要である。

2.2 アバタを介したコミュニケーション

現在、オンラインコミュニケーション手段として、テキスト・音声チャットシステムが広く使われている。これらの多くは、ノンバーバル情報の提示手段をもたないか、非常に制限されている。これに対し、アバタ (Avatar) と呼ばれる CG キャラクタをユーザの代理とするシステムの研究が盛んに行われており、近年では、商業的に広く利用されている [7]。身体性をもったアバタの使用は、表情表出やジェスチャを利用したノンバーバル表現を可能にする。

人間同士のコミュニケーションにおいて、ノンバーバル情報の中でも、視線は様々なコミュニケーションコントロール機能をもつ。視線を会話相手と交差させることによって発話の移譲と要求を行う調整子機能 [18] や、同じ対象を見る共同注視により、対象を共有することで意図の推定を促すことが可能 [19] といわれている。カメラを用いて会話中のユーザの視線を検知し、アバタの視線を自動制御する研究 [8] も行われているが、装置が大がかりとなり利用環境が制限される問題も指摘されている。ユーザの割り込み拒否度の表現は、ユーザにとって認知負荷の少ない直観的な表現が望ましい。これまでも、ノンバーバル表現を用いたアンビエントアウェアに関する研究も行われている。頭部・顔・体の動きがノンバーバル情報の表出に有効である点 [9] や、視線移動中の頭部と体の姿勢によってバーチャルなキャラクタの感情状態が理解できる点 [10] などが報告されており、人間が日常的に実行する意味のあるモーションと類似したモーションをロボットが実行することで、それを観察したユーザが人間とのアナロジーを発見し、ロボットのマインド理解が促進されるとされている [11]。本研究では、アバタによるノンバーバル表現を情報システムの情報提示方法の一つとして用いることで、直観的に、かつアンビエントに会話パートナーの状態を伝えることが可能であると考える。

2.3 AS に着目した情報提示制御の可能性

2.3.1 AS 時ユーザ割り込み拒否度の分析

従来研究において、アクティビティのみから、知的作業をも反映した忙しさを推定することは容易ではな

表 1 AS 時と NAS 時の割り込み拒否度の比較

Table 1 Subjective evaluation of system interrupt at AS and NAS.

	拒否度					
	1	2	3	4	5	Ave.
NAS	7	14	22	20	12	3.2
AS	51	80	67	45	36	2.8

かった。そこで筆者らは、作業が一段落したときには、作業内容にかかわらず集中度が一時的に低下し、割り込みに対する拒否度も低下する可能性が高いと予想し、利用アプリケーションの切替情報を作業の切り換わりとみなして、ユーザの割り込み拒否度と AS の関連を実験的に検討した [3]。実験は、10 名の被験者から研究室環境・自宅環境における PC 作業履歴 40 時間分を収集し、分析を行った。収集する作業履歴は、キー入力数、クリック数、ホイール使用量、アクティブウィンドウ名とした。また、システムが自動で被験者に割り込み、そのときの割り込み拒否度の主観評価値を答えさせた。拒否度の評価値は、“1: 全く問題ない” から “5: 邪魔しないでほしい” の 5 段階で回答させた。

AS 時と作業継続 (NAS) 時の割り込みに対する拒否度を比較した結果を表 1 に示す。表 1 は、AS・NAS 時の割り込みが拒否度 1~5 であったデータ数と、それぞれの平均値である。NAS 時の割り込み拒否度の平均値 3.2 に対して AS 時の平均値は 2.8 であった。t 検定の結果、AS 時の割り込み拒否度が NAS 時に比べ平均で有意に低く ($t(278) = 2.509, p < 0.01$)、AS 時の割り込みは、NAS 時に比べ拒否度が低くなるという予想を支持する傾向を確認した。複数のアプリケーションに跨る作業など、AS 時の割り込みであっても高低が存在するため、すべての AS 時割り込みの拒否度が低いとはいえず、更なるデータの分析が必要である。現段階では、頻度の低い AS の方が作業の切れ目としての意味が大きく、特に 2 分以上継続して作業した後の AS において拒否度の低減効果が大きいこと、ウィンドウのデストロイ信号発生時の AS は作業終了の意味合いが強いことなどが、分析によって確認されている。

また、NAS 時を対象に、割り込み拒否度と瞬時アクティビティ (キー入力数、クリック数、ホイール使用量の重み付き和) の 30 秒から 5 分間の積算値との関係を分析したところ、5 分間アクティビティ積算値と拒否度に弱い相関が観察された。瞬時アクティビティは NAS 時のユーザの割り込み拒否度をある程度反映するが、瞬時アクティビティは思考等の影響を受けるた

め変動が大きく、数分程度の積算が必要であることを示唆する結果となった。アクティビティのない NAS など、割り込み最適なタイミングが NAS 時に存在する可能性は考えられるが、人間の思考は外部から認識できないため、NAS 時の拒否度の高低の判別が難しく、NAS 時を対象とした拒否度推定は誤差のリスクが高いと考えられる。そこで、現在、拒否度の低い AS を推定すべく、詳細な分析とモデル化を進めている。

2.3.2 AS による拒否度低下期間の検討

先行研究により、AS の利用は割り込みタイミング制御に有効であることが示されたが、AS は作業の切れ目であると同時に、次の作業の始まりである可能性も高く、ユーザの作業に対する集中度は AS 直後から徐々に高くなるため、AS による割り込み拒否度低下効果は一時的なものであると予想された。そのため、推定から割り込みまでの遅延や情報提示方法によっては、AS 発生タイミングであっても、かえってユーザの作業を阻害する可能性が懸念された。

(1) NIRS 実験

人間の思考をつかさどるとされる前頭前野を NIRS (Near Infrared Spectroscopy: 近赤外分光器) を用いて計測を行った。先行研究 [12], [13] では、論理的思考を伴う作業の評価に使用するため、NIRS により前頭前野の計測が行われている。本研究でも、PC 作業時の思考を含む知的作業も考慮した割り込み制御を目標とし、NIRS 実験では、被験者に PC 上で異なる 2 種類のタスク (パズル) を同時に行わせ、その間の AS 前後の酸化ヘモグロビン量の変化の分析を行った。これは、一般的に脳の活動時には血液内の酸化ヘモグロビン量が増加することから、AS 前後の酸化ヘモグロビン量の時間的な変化や兆候など、脳の活動状態に生理的な変化があるのかを確認し、後述する時間差割り込み実験における実験条件に関する知見を得ることを目的としている。

実験は、5 × 3 個の測定用プローブを被験者の前頭部付近に装着し、22 チャネル分の酸化ヘモグロビン及び脱酸化ヘモグロビン量の増減を測定した。被験者は、大学教員 2 名と大学生 6 名の成人男性 8 名、全員が右利きであり、測定には島津製作所の FOIRE-3000 を用いた。実験は、“10 分間のタスク実行後、1 分間のレストをとる” を 1 セットとし、4 セット分繰り返した。また、被験者には、二つのタスクを任意のタイミングで切り換え実行させた。二つのタスクは、共通して論理的思考を特に必要とすると考えられ、特

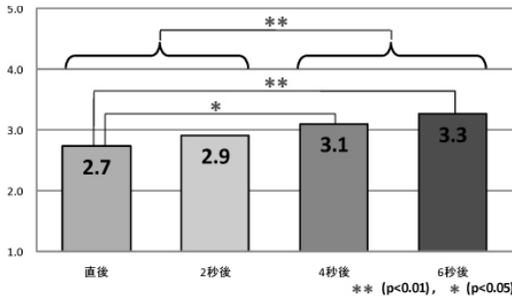


図 1 時間差割り込み実験結果

Fig. 1 Subjective evaluation of time difference interrupt.

に、論理的推論機能に関する部位 [16] とされる前頭部左下の部位 (ch17, ch18, ch22) のうち, ch18 (被験者によってノイズが発生した場合は ch22) を対象として計測・分析を行った。

まず、被験者ごとに、全 AS の前後 30 秒間の酸化ヘモグロビン量の測定値に 9 点移動平均 (約 1 秒) をかけ、AS 発生時刻を基準として同期加算平均を取った。次に、増減傾向が変化する点をもとに拒否度低下時間の検討を行ったところ、AS 後の経過時間によって活性量が増加しピークに至ること、ピーク到達までの潜時は平均で 5 秒程度という知見が得られた。また、AS 発生時点での活性量は、平均でピークの 40.2%、AS の 2 秒後にはピークの 70%、4 秒後には 90% に到達しており、AS 後の割り込み拒否度低下効果は一時的な効果であるという予想を支持する結果であった。

(2) 時間差割り込み実験

NIRS 実験で得られた知見に基づく時間差割り込み実験を行い、拒否度低下期間の検討を行った。実験では、AS 後の割り込み時間に時間差 (直後、2・4・6 秒後) を設け、実際に被験者に割り込んだときの割り込み拒否度を収集し、検証を行った。被験者は大学生・教員の 13 名とし、15 時間分のデータを [3] と同様の手法で収集した。

AS 直後はデータ数 108 個、拒否度平均値は 2.7 (SD 1.34) であった。同様に、2 秒後はデータ数 66 個、平均値 2.9 (SD 1.26)、4 秒後はデータ数 96 個、平均値 3.1 (SD 1.36)、6 秒後はデータ数 72 個、平均値 3.3 (SD 1.29) となった。AS 後の割り込みタイミングによる拒否度の比較を図 1 に示す。AS 直後で割り込んだ場合の平均拒否度は 2.7 であり、表 1 で示した AS 平均値と比較しても同程度の値であった。AS 直後から、2 秒・4 秒・6 秒と時間が経つにつれ、平均拒否度も徐々に高くなる結果となった。割り込みタイミ

ングを要因とした、1 要因分散分析を行ったところ有意差が確認された ($F(3, 338) = 2.69, p < 0.05$)。そこで、LSD 法にて多重比較を行ったところ、AS 直後と 4 秒後の間で 5% 有意、AS 直後と 6 秒後の間で 1% 有意が確認された。更に、AS 後 2 秒以内の群と AS 後 4 秒以降の群の間で t 検定を行ったところ有意差 ($t(339) = -2.601, p < 0.01$) が確認され、AS 後の割り込み拒否度低下期間は、2 秒程度が目安となる知見が得られた。

以上から、AS 時の割り込みは、よりユーザに受け入れられやすいことから、ユーザの作業を阻害しない話しかけタイミングとして有望である。しかし、AS 後の拒否度低下期間は 2 秒程度であることが示唆されており、AS 発生に合わせた人手による話しかけは困難である。よって、AS 後の拒否度低下期間を利用するためには、システムによる支援が有効と考えられる。

3. ADSS エージェント

本研究では、オンラインながらコミュニケーションを対象として、自然で円滑な会話の場の雰囲気をもったオンラインコミュニケーションシステムの実現を最終的な目的としている。本システムは、身体性をもったアバタによるノンバーバル表現を利用し、会話開始から、会話中、そして会話終了前の 3 ステージにわたって支援を行うことを目指している。そこで、まず、会話開始ステージの支援を目的として、ユーザの代わりに、対象ユーザの割り込み拒否度に合わせてアンビエントな話しかけ支援を行う、Acceptable Dialog Start Supporting (ADSS) エージェントの開発を行った。ADSS エージェントは、ユーザの PC 作業履歴から割り込み拒否度を推定し、アバタの姿勢・動作を用いた拒否度の表出、更には、視線制御によるアンビエントな話しかけ代行を行うことで、円滑な会話開始の支援を目指す。

3.1 エージェントによる会話開始支援

2. で述べたとおり、先行研究において、AS 時の割り込みはタスク継続 (NAS) 時と比較して、ユーザに受け入れられやすいことが示された。この知見に基づき、システムがユーザの PC 操作をモニタしてユーザ状態を推定し、ネットワークを介して、アバタの姿勢・動作によりユーザ状態を表出し合うことで、会話開始タイミング取得を支援する手法を提案してきた [14]。

しかし、AS を利用した割り込みには大きく三つの問題点がある。第 1 に、AS がいつ発生するか予測が困



図 2 ADSS エージェントによる会話開始支援

Fig. 2 Supporting for dialog initiation by ADSS agent.

難であるため、AS に合わせて話しかけるには、ユーザが相手の AS 発生を待ち続ける必要がある。そのため、ユーザ自身の作業を行うことができず、負担が大きい。第 2 に、時間差割り込み実験結果が示すとおり、AS 時の拒否度低減効果を利用するためには、AS 発生から 2 秒以内の働きかけが望ましいが、通信遅延や PC 操作の時間等を踏まえると、効果時間内に人手で話しかけを行うことは困難である。そして、第 3 に、ユーザ状態推定は、本質的に推定誤差を避けることができないため、表示された相手のユーザ状態をもとに割り込んだとしても、意図せず相手の作業を阻害する懸念がある。特に、従来の音やポップアップウィンドウによる割り込み方法では、やはり推定誤差があった場合に、相手の作業を妨害する危険性が高い。

以上のことから、AS を利用した、より受け入れられやすい話しかけの実現には、ユーザの代わりに会話相手の AS 発生に合わせ、本当にユーザが忙しい場合であれば気づかず、余裕があれば気づく程度のアンビエントな方法による話しかけを自動で行う必要がある。そこで本研究では、ユーザから会話開始要求を受けたエージェントが、ユーザの代わりに対象ユーザに対して自律的に働きかけを行うことで、ユーザの負担を軽減し、話しかける側とかけられる側の双方の作業を阻害しない円滑な会話開始の実現を目指す。

エージェントを介した会話開始までの流れは次のとおりである。まず、ユーザが話しかけたい相手（対象ユーザ）との会話開始をエージェントに要求すると、エージェントは対象ユーザへの働きかけを開始する。エージェントは、対象ユーザの PC 操作を逐次モニタしているため、AS の発生を瞬時に認識し、それに合わせた働きかけを行うことが可能であり、また、要求元ユーザは、実際に会話が開始されるまで自身の作業を行うことができる。対象ユーザへの働きかけは、人間が日常的に行っている、「話しかけたい相手の様子をまずうかがう行動」により行う。具体的には、エージェントは、アバタの視線制御による働きかけを行う。対象ユーザの NAS 時には要求元ユーザのアバタを用

いて共同注視を行い、AS 時には視線交差を行うことで、会話開始要求への対象ユーザの気づきを促す。そして、このアピールに気づいた対象ユーザから、要求元ユーザへ発話が行われることで、会話が開始される。対象ユーザが実際に忙しい場合には気づかない程度のアンビエントな働きかけを行うことで、推定誤差が存在する場合であっても、対象ユーザの作業を阻害しにくい働きかけが実現できると考えられる。従来研究におけるアバタを用いたノンバーバル表現手法を、情報システムの情報提示方法に適用することの有効性検証にもつながると考えられる。

アピールに気づいた側からの話しかけによる会話開始を実現することで、これまで一方的に割り込まれる側であった対象ユーザは、作業の切替や作業への集中力低下によって相手のアピールに気づいたときに、会話するかどうかの判断をすることができ、要求元ユーザもまた、自身の作業をただ続けているだけで、無理に割り込むことなく相手からの発話によって会話を開始することができる。従来の話しかけたい側が割り込み、話しかけられる側が割り込まれるという関係を逆転することで、双方の作業を阻害しない、円滑な会話開始が期待できる。

3.2 ADSS エージェントの構成

ADSS エージェントの構成を図 3 に示す。エージェントは、自ユーザの PC 操作をモニタし、割り込み拒否度を推定する。各ユーザのエージェントは、ネットワークを介して他のエージェントと拒否度を交換し合い、送られてきた他ユーザの拒否度を、アバタを介してアンビエントに表現する。更には、エージェントは、他ユーザから“自ユーザとの会話開始要求”を受け取り、要求元ユーザのアバタを用いて、アンビエントな表現によって要求をアピールする。エージェントの構成は大きく分けて、“割り込み拒否度推定部”、“割り込み拒否度表出部”、“会話開始要求アピール部”の三つのコンポーネントから構成される。

3.2.1 割り込み拒否度推定

割り込み拒否度推定部では、ユーザの PC 操作をモニタし、作業履歴の分析 [3] で得られた知見に基づき、割り込み拒否度を推定する。本研究における割り込み拒否度は、ユーザが作業継続 (NAS) 時が作業切替 (AS) 時によって算出方法が異なる。NAS 時は作業の忙しさにより、ユーザがどの程度割り込まれたいかを表し、一方、AS 時はユーザの作業の切れ目であると考えられるため、作業中と比較し拒否度がどの程度下

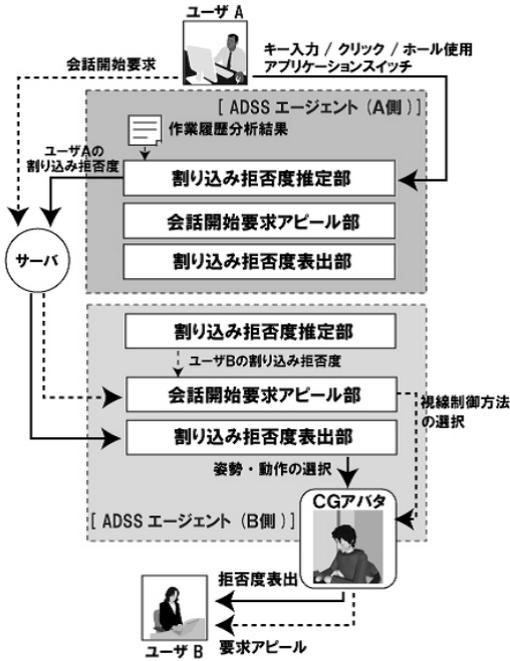


図 3 ADSS エージェントの構成
Fig. 3 Architecture of ADSS agent.

がったかを表す．

$$A(t) = \alpha \frac{\sum_t^n (2K_t + C_t + H_t)}{N} \quad (1)$$

$$T(t) = \beta \frac{1}{\sum_t^n (AS_t)} \quad (2)$$

NAS 時における割り込み拒否度は、ユーザの 5 分間の PC 操作量をもとに算出しており、これをアクティビティ要素 $A(t)$ として、式 (1) より求める．任意の時刻 t における割り込み拒否度 $A(t)$ は、 t の 5 分前から $t-1$ までのアクティビティ量（キー打鍵数 K_t + クリック回数 C_t + ホイール操作有無 H_t ）の移動平均値とする．また、 N は 5 分間のデータ数（0.5 秒間隔でデータを取得しているため、600 プロット）を表す．一方、AS 時における割り込み拒否度は、AS 時の拒否度の低下量を 5 分間の AS 発生回数の逆数によって算出しており、これを作業切れ目要素 $T(t)$ として、式 (2) より求める．任意の時刻 t に発生した AS における割り込み拒否度 $T(t)$ は、時刻 t の 5 分前から $t-1$ までの AS 回数をもとに算出する． AS_t は、時刻 t 時の AS 発生の有無（AS 発生なら 1、そうでなければ 0）を表す．

なお、 α と β は予備実験によって求めた係数であり、 $\alpha = 4$ 、 $\beta = 10$ とする．エージェントは、ユーザの NAS 時は毎秒ごとにアクティビティ要素 $A(t)$ をサーバに送信し、ユーザの AS が発生したときは瞬時に、AS 発生と作業切れ目要素 $T(t)$ を送信する [15]．

3.2.2 アバタの姿勢・動作による拒否度表出

割り込み拒否度表出部は、送られてきた拒否度を、送信元ユーザのアバタを用いてユーザに表出する．アバタによる拒否度表出方法は、自然で直観的に理解可能であることが望ましい．また、割り込み拒否度は、ユーザの作業状況に応じて、会話開始前から終了まで常に変化し続けるため、拒否度の表現方法は、会話開始前・中・終了前の 3 ステージにわたって、一貫していることが望ましいと考えられる．また、表情表出・うなづき・ジェスチャ等のアバタを用いた他のノンバーバル表現と親和性が高いことも実用上は望ましい．そこで、本研究では、アバタの姿勢・動作を用いてユーザの割り込み拒否度表出を行う方法を採用した．

NAS 時の拒否度表出は、“イスにもたれる・前屈みになる”といった、アバタの「姿勢」により表現を行った．これは、サーバから毎秒受信する NAS 時拒否度の表出が、ユーザの作業を妨害しないよう、変化が目立たない静的な表現を行うためである．一方、AS 時拒否度の表出は、AS 発生のタイミングを表出するため、“伸びをする”などの作業の切れ目の度合を示す「動作」による表現を行った．アバタの姿勢・動作による拒否度表出を行うためには、拒否度の高低を、姿勢・動作を用いて表現する必要がある．先行研究では、PC 作業時の上体と作業対象との距離が作業者の集中度合を表し [20]、また、上体の向きや距離が対象に対する興味の高さを表す [21] とされている．本研究では、これら姿勢の向きや傾きが、これを見た他者にも同様の印象を与えると予想した．そこで、予備調査として、人間の日常生活における「忙しい・忙しくない」と印象を受ける姿勢・動作の聞き取り調査を行った．その結果、ワークスペース（机、PC）と体・手の距離・ワークスペースと顔・体の向きが、忙しさの印象に影響を与えるという知見が得られた．この知見に基づき、本研究では、忙しさの印象を与える姿勢・動作を複数重ね合わせる（例：前屈みでキータイプ > キータイプ）ことで、拒否度の高低を表現した [14]．

3.3 アンビエントな会話開始要求の表現

本研究では、ADSS エージェントに送られるユーザの要求は 2 種類存在する．一つは、任意のユーザとの

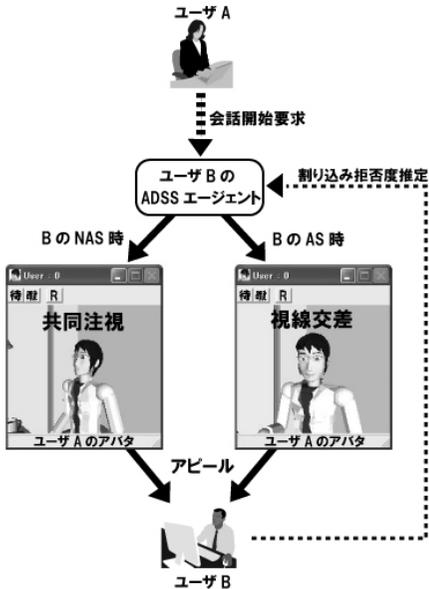


図 4 視線制御による会話開始要求アピール
Fig. 4 Ambient appeal of dialog request using gaze control.

会話開始要求であり、本研究ではこれを「待機モード」と呼ぶ。もう一つは、自身が会話受入れ態勢にあることを示す「歓迎モード」である。前者の要求を受けたエージェントは、視線行動によるアンビエントな会話開始要求を行い、対象ユーザが会話開始要求に気づくよう促す。後者の場合は、他者が話しかけやすいよう、自ユーザの拒否度を他ユーザの PC 上で実際よりも低く表示する。エージェントの会話開始要求アピールに気づいた対象ユーザが、要求元のユーザに自ら話しかけることで、推定誤差が存在する場合であっても、円滑な会話開始支援が実現できると考えられる。

3.3.1 アバタの視線制御による要求アピール

エージェントによる会話開始要求アピールは、対象ユーザの作業状況に応じ、共同注視と視線交差の 2 種類の視線制御方法を用いて行う。図 4 に対象ユーザの状態と制御方法の対応を示す。

- 共同注視：対象ユーザが NAS 時の場合は、対象ユーザの使用しているウィンドウ（アクティブウィンドウ）方向に視線を向ける、共同注視によるアピールを行う。対象ユーザが注視している（と予想される）作業スペースを、アバタも注視する素振りを見せることで、自身の作業内容に興味がある/用事があるのではないかと、対象ユーザの作業を妨害しない程度の弱いアピールにより気づきを促す。

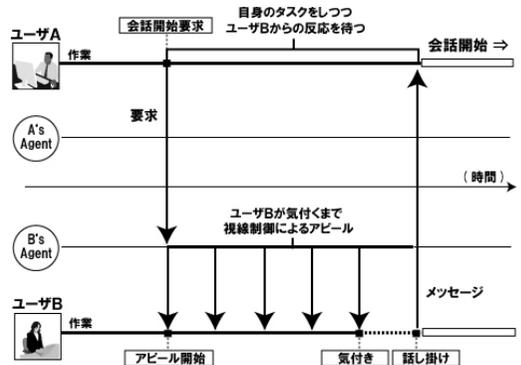


図 5 ADSS エージェントによる会話開始までの流れ
Fig. 5 Example of dialog initiation by ADSS agent.

- 視線交差：AS 時には一時的に割り込み拒否度が低下することを利用し、対象ユーザの方を見るという、より強いアピールによる会話開始要求への気づきを促す。対象ユーザが AS を発生させた場合は、対象ユーザとの視線交差によるアピールを行う。視線交差は、ユーザが居るであろうモニタ正面に対しアバタの顔を向けることで行う。

エージェントは、共同注視によってユーザの作業を妨害しないよう、対象ユーザの拒否度に応じて、アピールの発生確率を 26 ~ 80%、注視間隔を 10 ~ 36 秒の範囲で調整する。ユーザの拒否度が高いほど、発生確率を低く、注視間隔を長くし、逆に、拒否度が低いほど、発生確率を高く、注視間隔を短くするよう調整する。

また、本研究では、ユーザ間で送受信される情報（プライバシー）に配慮するため、PC 操作内容をそのままユーザ間で送受信することがないように、各クライアント内で拒否度を推定し、この推定値のみ共有する。AS も一つのプライバシー情報と考え、通常状態では、ユーザが他者の AS 発生を認知することができない設定とした。ユーザが会話開始要求を送信した場合のみ、要求元ユーザに見られていることを対象ユーザが認識できるのと引き換えに、要求元ユーザが対象ユーザの AS 発生を認識可能にすることで、両者の“見る・見られる”という立場が対等となるよう情報のコントロールを行う。

3.3.2 ADSS エージェントによる会話開始の流れ

ADSS エージェントの会話要求アピールによる会話開始までの流れを図 5 に示す。要求送信から会話開始までの流れは、次のとおりである。

(1) 会話開始要求の送信：ユーザ A は、画面上に表示されているユーザ B のアバタを見て、ユーザ B の忙しさから会話開始要求を送信するかを判断する。もしユーザ A がユーザ B に話しかけたい場合は、会話開始要求ボタンを押し、待機モードに移行する。要求はサーバを介してユーザ B の ADSS エージェントに送信される。ユーザ A は、ユーザ B からのメッセージが届くのを待ちつつ、自身の作業に戻る。

(2) 要求アピールの開始：要求を受けたユーザ B の ADSS エージェントは、ユーザ A のアバタを用いて、ユーザ B の AS・NAS 状態に応じた視線制御による要求アピールを開始する。要求アピールは、要求元のユーザ A が待機モードを解除するまで継続して行われる。

(3) 対象ユーザの気づきと会話開始：アプリケーションの切替時や集中力が低下してふと画面の隅に目をやったときなど、ユーザ B が要求アピールに気づいた場合は、ユーザ B は、ユーザ A に話しかけるかどうかを判断する。ユーザ B との会話を望む場合は、システムのインスタントメッセージ機能を用いてメッセージを送信する。一方、会話を後にしたい・望まない場合は、そのまま自身の作業を継続することができる。これは、ユーザ A も自身の作業を行っており、かつ、ユーザ B がアピールに気づいているかどうか判断できないため、ユーザ B が積極的に反応を返す必要がないからである。

4. 実験

ADSS エージェントによる視線制御を用いた会話開始要求アピールによって、ながらコミュニケーションにおけるユーザ間の円滑な会話開始が実現可能であるかの検証を行った。

4.1 実験方法

実験は、被験者に、本研究で開発しているオンラインながらコミュニケーションシステムをインスタントメッセージングツールとして使用させた。被験者は、日常的にインスタントメッセージングツールを使用している同じ研究室に所属する大学生の男女 6 名とし、普段自身が使用している 3 部屋に別れ、普段どりの作業を行わせた。実験は 4 日間で合計 14 時間行ったが、被験者になるべく同室とならないよう考慮し、3 名または 4 名により同時にシステムを利用させ、一人当たり平均で 8 時間実験に参加させた。また、同室の被験者間は直接会話することが可能であるため、本シ

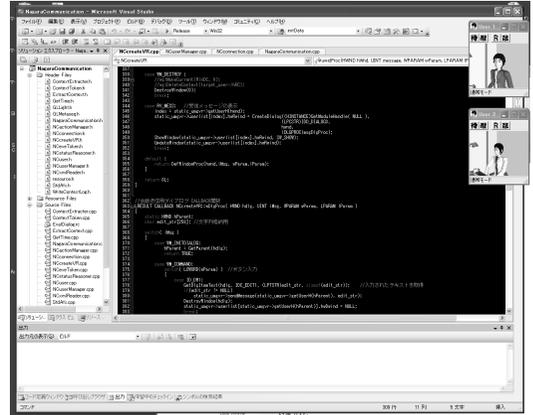


図 6 実験の様子

Fig. 6 Screenshot of subject's screen.

テムを利用した会話は行われておらず、実験データにも含まれていない。被験者には、実験中の PC 利用目的に制限を与えず、自由に使用させた。主な使用目的は、システム開発・ブラウジング・データ整理などであった。また、会話回数や会話目的、会話内容についても制約を与えなかった。

ADSS エージェントの要求アピールの効果を評価するため、サーバ側での各ユーザの要求アピールとメッセージ送信時間の記録と、アピールを受けた被験者を対象に、視線によるアピールの気づきやすさの評価を“1：全く気づかない”から“5：すぐに気づく”として回答させた。また、実験後、被験者に次のような聞き取り調査を行い、該当項目に対して回答させた。

- 会話開始要求の目的
- 要求後、相手の返信前に直接話しかけた理由
- 要求後、相手の返信前に要求を取り下げた理由
- どのようなときに要求アピールに気づいたか

被験者間の会話は、本システムのインスタントメッセージ機能によって行った。他の被験者への話しかけは、必ず ADSS エージェントに会話開始要求を送信することとした。また、実験中は、各ユーザのアバタ表示用ウィンドウが、他のアプリケーションの全画面表示で隠れることがないように、常に PC 画面の最前面に表示されるよう設定した。実験の様子を図 6 に示す。アバタウィンドウの表示位置に関しては特に教示を与えなかったが、ほぼすべての被験者が、画面右端に表示させていた。

4.2 実験結果

表 2 に会話開始要求の回数と、サーバ側の記録を

表 2 要求アピールの成立・不成立 (*離席中, **自己都合)
Table 2 Result of ambient dialog requests.

要求成立 (12 回)	直接会話 (2 回)	取下げ (5 回)
63 秒	17 秒	249 秒
404 秒	33 秒	59 秒
242 秒		10 秒
244 秒		1120 秒**
455 秒		448 秒
3852 秒*		
112 秒		
42 秒		
404 秒		
731 秒		
381 秒		
331 秒		
605 秒 (SD 996.0)	25 秒 (SD 7.9)	377 秒 (SD 402.5)

もとに算出した成立・不成立までの時間を示す。被験者の会話要求に対し、対象者からの話しかけで会話が始まった場合を「要求成立」、要求後に対象者からの話しかけを待たずに直接メッセージを送信した場合を「直接会話」、また、要求に対する応答がなく要求解除した場合を「取下げ」とした。実験中、会話開始要求は 19 回行われ、要求成立が 12 回、不成立が 7 回であった。不成立中 2 回は直接話しかけが行われ、取下げは 5 回であった。成立までの平均時間は 605 秒、直接会話が 25 秒、取下げが 377 秒となった。要求成立における標準偏差の値は 996.0 と高い数値となったが、被験者が離席しておりアピールを受けていなかったデータ (3852 秒) が存在するためであり、これを除くと平均 310 秒、標準偏差 191.0 となる。離席時のデータを除いた場合、大半が 200~400 秒程度の範囲で会話が成立していた。また、被験者全員は、会話開始要求の送信または受信を経験しており、被験者の一部に会話が偏ることはなく、要求が時間的に一時期に集中することはなかったが、親しい被験者間での要求が多い傾向は見受けられた。

要求アピールの気づきやすさの評価は平均で 2.9 であった。ほとんどの被験者から、自分にある程度余裕がないとアピールに気づかなかったという内観報告が得られ、要求を意図的に無視したという報告はなかった。また、アバタが画面に存在するため気になった、アピールが気になり作業が妨害されたといった報告や、他のユーザに監視されていると感じたといった報告はなかった。一方で、視線交差に比べ、共同注視は分かりにくく、相手のアピールに気づかないことがよくあったという報告もあった。

実験後の聞き取り調査により、以下のような内観報

告が得られた。また、各項目の数字は報告数の内訳を示す。

[会話開始要求の目的]

- ・目的あり (9) : 相手に聞きたいことがあった。雑談をしようかと思った。
- ・目的なし (2) : アバタの姿勢から相手が暇そうだったので、なんとなく。
- ・その他 (1) : 相手がアピールに気づく程度に暇か確認したかった。

[直接会話の理由]

- ・待つつもりがなく、直接話しかけようと思った。(1)
- ・すぐに回答が欲しかった。(1)

[要求取下げの理由]

- ・自己解決 (3) : 聞きたかったことを自己解決できた。
- ・自己都合 (1) : 要求後、席を外すことになったため。
- ・その他 (1) : 特に目的はなかったため、気づかないなら良いと思った。

[要求アピールに気づいた瞬間]

- ・作業切り換わり時 (1) : 別の作業に移ろうとしたときに目に入って。
- ・作業中の区切り (10) : 作業に行き詰ったとき。作業が一段落して、なんとなくアバタを見たとき。作業中にたまたまアバタを見たとき。
- ・その他 (1) : 離席から戻ったとき。

上記以外にも、相手の状態が分かると便利である、話しかける用事はなくても相手の雰囲気分かって良い、アピールに気づいてもらえると嬉しい、といった報告も得られた。また、アバタウィンドウの最前面表示が問題であったという報告はなかった。

4.3 考 察

実験の結果、被験者からの会話開始要求のうち 6 割強が、エージェントの要求アピールにより成立した。アピールの気づきやすさの評価は、ほぼ中央値の「どちらでもない」とされ、被験者の多くが、作業の切れ目や作業中の区切りで初めてアピールに気づいていた。また、アピールがかえって作業の邪魔になったという報告はなく、本研究が目指すアンビエントな話しかけが実現できていたと考えられる。共同注視によるアピールは、被験者が作業中であることも相まって、比較的对象者に気づかれにくいことは予想どおりの結果であるといえる。そのため、より強い気づきを促す視線交差の利用は、会話成立の可能性を高めるのに有効であったと考えられる。被験者の拒否度が低下する AS 発生を利用することで、弱いアピールと強いアピール

の効果的な併用が可能となり、ユーザの作業を阻害しにくく、かつ、会話成立の可能性を高めるアピールの実現に、有効に働いたのではないかと推測される。また、会話成立までの時間は、平均で約 10 分であった。要求送信後にすぐに会話が始まらなかった点は、アンビエントなアピールに気づく程度まで、対象者の拒否度が実際に低下してから会話開始であったと考えられ、より作業中のユーザを阻害しない円滑な会話開始が実現できていたと考えられる。一方で、視線交差によるアピールをより強いものとし、会話開始までの待機時間短縮の検討も必要である。

また、今回の実験では、4 割程度の要求が不成立であった。要求を意図的に無視したという報告はなく、アピールに気づかなかったことが、不成立の主な原因であると考えられる。直接会話の 2 件は、被験者が返信を待ち切れずに切り換えたというわけではなく、最初から相手からの返信を待つ意思がなかったためである。拒否度表示を参考にした話しかけであれば、何も情報がない場合と比較し、相手の作業を阻害しにくいと考えられるが、相手の拒否度に合わせたエージェントによる直接話しかけ代行機能の検討も必要であるといえる。5 件の要求取下げ理由は、返信を諦めたというネガティブな理由は少なく、そのほとんどが要求者の都合により、会話開始要求を「キャンセル」したためである。対象者が気づく前のキャンセルは割込みと認識されず、「なかったこと」にすることが可能である。今回の実験では、自己解決可能な問題に関する割込みを減少させる、一種のフィルタの役割を果たしていたとも考えられる。取下げの大半は会話の必要がなくなったことが理由であるが、会話目的には複数の理由が考えられるため、待ち時間に応じてユーザ自身がアピールの強さを変更することで、要求成立の可能性をより高める手段の検討も必要である。また、ユーザが要求を取り下げた場合に、より要求が成立しやすい状況となった時点で、エージェント側から再要求を提案するなどの対応も考えられる。

特に、本実験では共同注視の表現がアピールとして弱いという報告であった。作業を阻害しにくく会話開始要求を成立させやすい、矛盾する二つの要求を満たすアピールの強さの変化については、今後の課題といえる。既存の共同注視・視線交差の動作の大きさや頻度を変化させ、より目立たせる方法も考えられるが、かえってユーザの作業を阻害することも懸念される。単純に動作を目立たせるのではなく、通常状態・共同

注視・視線交差の状態の違いを際立たせることで、アピール状態であることをより認識されやすくする方法も考えられる。3D アバタの特性を生かし、共同注視時のアバタ表示位置の変更や視線交差時の顔へのアップなどのカメラワークの工夫なども、アピールのコントラストを表現するのに有効であると考えられる。今後、割込み拒否度の推定精度を向上するとともに、拒否度に応じて会話開始要求をより強く・弱くダイナミックに表現することで、最終的にはアンビエントであるが確実に会話を促せる表現を検討していく。

拒否度表示に関しては、相手の状態が分かる点が評価され、また、要求に対して応答がなされない場合の理由付けや、直接会話への切替の判断に利用されていた。拒否度表示が会話開始支援に対しても有効であると考えられる。また、今回の実験では、被験者から PC 操作履歴をモニタされること（プライバシー）に関するクレームを受けることはなかった。本システムでは、各ユーザの PC 操作内容等を他者へ送信することは一切なく、あくまでもクライアント内で閉じているため、ユーザ間で交わされる情報のコントロールに関しては、特に問題なかったと考えられる。システム使用中に、アバタに監視されているという印象をもったという報告もなかった。アバタ自体は、基本的に表示用ウィンドウ内にあるワークスペース（PC モニタ）を見ている点、要求アピール以外ではユーザと視線交差しない点、相手ユーザの実際の映像ではなく CG アバタとした点、カメラ等の撮像機器を使用していない点などが、監視されているといったネガティブな印象を被験者に与えなかったと考えられる。今後、ユーザによるプライバシー情報の公開範囲の指定など、ネットワークを介して送受信される情報、常時アバタが表示される影響についても検討する必要があると考えられる。

また、本実験は研究室に在籍する学生を被験者として行ったが、被験者間に共同作業のような特段の会話の必要性がなかったことが、要求回数に影響したと考えられる。また、大半のケースが要求から数分で会話が成立したこと、不要になれば自発的に取り下げができることなどから、本システムによる会話開始支援は、会話がより発生しやすい、オフィスやテレワークなどの作業内容を共有する関係性がある場合にも、「電話をかけるほど火急ではないが、メールではなく、やり取りをしたい」場合に有効であると予想される。現段階では、1 対 1 のコミュニケーションを対象とした話

しかけ支援を行っているが、複数ユーザ間のコミュニケーションにも今後対応する必要があるといえる。複数ユーザの参加時刻の同期などに関しては、実空間でのコミュニケーション行動を参考に今後検討していく。更には、対象ユーザが会話中であるかなどの表示機能などが考えられる。また、会話の対象が増えることでアバタ表示数も増加することになるが、表示に利用できるスペースには限りがある。話しかけ機能に特化したアバタ1体のみの表示も考えられる。

5. む す び

本研究では、円滑な会話開始支援を目的とした、ADSS エージェントの開発を行った。本エージェントは、ユーザの割り込み拒否度推定を行い、他ユーザへアバタの姿勢・動作を用いてこれを出す。また、ユーザの代わりに、共同注視と視線交差によるアンビエントな話しかけ支援を行う。実験により、エージェントの視線制御による要求アピールがアンビエントな話しかけ実現に有効であることを確認し、より作業中のユーザを阻害しない円滑な会話開始の実現可能性を示した。

現段階では、エージェントからユーザに対する一方向の動きかけのみであるが、アバタが他のウィンドウに隠れている場合やユーザが離席している場合など、対象ユーザからの応答を期待できないときの要求元ユーザへのフィードバックや、長時間応答がなく推定誤差の可能性が考えられる場合での推定値補正、効果的なアピールの変化方法などが、今後の課題である。

謝辞 本研究の一部は、文部科学省特別教育研究費共生情報工学研究推進経費によるものである。ここに記して感謝する。

文 献

- [1] 本田新九郎, 富岡展也, 木村尚亮, 大澤隆治, 岡田謙一, 松下 温, “作業者の集中度に応じた在宅勤務環境の提供: 仮想オフィスシステム Valentine” 情処学論, vol.39, no.5, pp.1472-1483, 1998.
- [2] 清水 健, 平田敏之, 山下邦弘, 西本一志, 國藤 進, “個人作業状況アウェアネス提供システムの構築と評価” 第二回知識創造支援シンポジウム, pp.78-85, 2005.
- [3] 田中貴紘, 松村京平, 藤田欣也, “アプリケーションスイッチに着目した情報提示タイミング制御のための作業履歴の分析” 情処学論, vol.50, no.1, 2009.
- [4] 田中貴紘, 藤田欣也, “オンラインながらコミュニケーションにおけるユーザの割り込み拒否度を考慮した円滑な会話開始支援エージェント” HAI シンポジウム 2008, 2008.
- [5] S.E. Hudson, J. Fogarty, C.G. Atkeson, D. Avrahami, J. Forlizzi, and S. Kiesler, “Predicting human inter-ruptibility with sensors: A wizard of oz feasibility study, Proc. SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems, pp.257-264, 2003.
- [6] J. Lester, T. Choudhury, N. Kern, G. Borriello, and B. Hannaford, “A hybrid discriminative/generative approach for modeling human activities,” Proc. IJCAI-05, pp.766-772, 2005.
- [7] Second Life, Linden Research, Inc. <http://secondlife.com/>
- [8] R. Vertegaal, “The GAZE groupware system: Mediating joint attention in multiparty communication and collaboration,” Proc. CHI 99, pp.15-20, 1999.
- [9] J. Lee and S. Marsella, “Nonverbal behavior generator for embodied conversational agent,” Proc. IVA06, pp.243-255, Springer, 2006.
- [10] B. Lance and S. C. Marsella, “Emotionally expressive head and body movement during gaze shifts,” Proc. IVA07, pp.72-85, Springer, 2007.
- [11] K. Kobayashi and S. Yamada, “Informing a user of robot’s mind by motion,” The Third International Conference on Computational Intelligence, Robotics and Autonomous Systems (CIRAS 2005), SS4B-3, 2005.
- [12] 宮城和音, 近藤佑樹, 榎本健治, 石井裕剛, 下田 宏, 岩川幹生, 寺野真明, “パフォーマンステストによる知的生産性改善評価時の NIRS を用いた脳活動計測” 第 47 回ヒューマンインタフェース学会研究会, vol.10, no.1, pp.149-154, 2008.
- [13] 宮川道夫, 新井直樹, 前田義信, “インターフェース手法の定量評価を目的とした前頭前野の NIRS 計測” ヒューマンインタフェースシンポジウム 2007, no.3231, 2007.
- [14] 田中貴紘, 藤田欣也, “オンラインながらコミュニケーションにおけるアバタを介した会話パートナーのコンテキストウェア” HAI シンポジウム 2007, 2007.
- [15] T. Tanaka, K. Matsumura, and K. Fujita, “Unconsciously harmonized online communication based on uninterruptibility estimation of interaction partners,” Proc. APCHI2008, pp.77-85, Springer, 2008.
- [16] 酒田英夫, 外山敬介, 脳・神経の科学 II 脳の高次機能, 岩波書店, 1999.
- [17] Skype 動向分析レポート, ネットアンドセキュリティ総研, 2005.
- [18] A. Kendon, “Some functions of gaze-direction in social interaction,” Acta Psychologica, vol.26, pp.22-63, 1967.
- [19] 中島幸宏, 武川直樹, 湯浅将英, 大和淳司, “擬人化エージェントとの視線・仕草による相互理解 —「じーっ, うん」で, ワカッテクレタ? ” HAI2008, 2008.
- [20] K. Sumi, K. Tanaka, and T. Matsuyama, “Measurement of human concentration with multiple cameras,” Proc. KES2005, vol.4, pp.129-135, 2005.
- [21] 若井祐介, 鷲見和彦, 松山隆司, “画像を用いた人の選択行動の興味度合い推定” ViEW2005, 2005.

(平成 21 年 1 月 30 日受付, 4 月 27 日再受付)



田中 貴紘

2001 名工大・工・知能情報システム卒.
2006 東京工業大学大学院総合理工学研究
科博士後期課程了. 博士(工学). 2007 東
京農工大学大学院共生科学技術研究院助教,
現在に至る. 知的エージェント, ヒューマ
ンエージェントインタラクション, オンラ
インコミュニケーションに興味をもつ. 人工知能学会, 情報処
理学会各会員.



藤田 欣也 (正員)

1988 慶應義塾大学大学院理工学研究科
了. 相模工業大学, 東北大学医学部, 岩手
大学を経て, 現在東京農工大学大学院教授.
共有仮想空間コミュニケーション, VR シ
ステムや感覚の遠隔共有など, 人と共生す
る情報システムのためのヒューマンインタ
フェースの研究に従事. 工博.